

Herkko Hämäläinen

ENERGIAPUUN VARASTOINTI

Energiapuun varastointiohje


Opinnäytetyö
Metsätalous

Maaliskuu 2012

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 7.3.2012
Tekijä Herkko Hämäläinen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Metsätalouden koulutusohjelma Metsätalous
Nimeke Energiapuun varastointi, energiapuun varastointiohje		
Tiivistelmä <p>Ilmaston lämpenemisen hidastamiseksi Suomi on sitoutunut EU:n yhteisiin tavoitteisiin lisätä biopoltto-aineiden käyttöä energiantuotannossa. Suomella on suuret metsävarat, joista riittää puuta niin teollisuudelle, kuin energiantuotantoonkin. Energiapuun käyttö on ollut koko ajan lisääntymään päin. Energiapuun parissa työskentelevien toimijoiden määrä tulee kasvamaan ja onkin tärkeää, että kaikilla toimijoilla on riittävä osaaminen vaikuttaa energiapuun laatuun. Energiapuun tuotannossa on pyrittävä mahdollisimman alhaiseen hakkeen kosteuspitoisuuteen ja puhtauteen. Siten hakkeen ja murskeen käyttö energiantuotannossa tulee kannattavammaksi. Varastopaikan olosuhteet vaikuttavat energiapuun kuivumiseen, mutta oikeilla työmenetelmillä on myös suuri vaikutus energiapuun kuivumiseen, puhtauteen ja kustannustehokkuuteen.</p> <p>Tässä työssä käsitellään energiapuun tuotantoa ja varastointia. Tutkimusosiossa perehdytään energiapuun varastoinnin laatuun Metsänhoitoyhdistys Järvi-Savon alueella. Työhön kuuluu energiapuun varastointiohje, jonka tarkoituksena on parantaa ja yhtenäistää energiapuun varastoinnin menetelmiä Metsänhoitoyhdistys Järvi-Savon alueella.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Energiapuu, biopolttoaine, varastointiohje		
Sivumäärä 27 s.	Kieli Suomi	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A1583
Huomautus (huomautukset liitteistä) Työ sisältää cd-rom-levyn, jolla on energiapuun varastointiohje.		
Ohjaavan opettajan nimi Timo Leinonen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Metsänhoitoyhdistys Järvi-Savo

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 7.3.2012
Author Herkko Hämäläinen	Degree programme and option Degree Programme in Forestry Forestry	
Name of the bachelor's thesis Energy wood storage, storage guide for energy wood		
Abstract <p>To slow down global warming, Finland is committed to the EU's common goals to increase the use of biofuels in energy production. Finland has large forest resources, which are sufficient to the purpose of wood industry and energy production. The use of wood energy has been constantly increasing. Amount of actors dealing with energy wood will continue growing and it is important that all actors have sufficient expertise in energy wood quality factors. Energy wood production must aim to the lowest possible moisture content of wood chips and purity. In this way production and use of crushed wood and wood chips as energy source will become more profitable. The conditions of storage site affects to the drying of energy wood, but the right working methods has also a major impact on drying, purity and cost effectiveness.</p> <p>This thesis deals with energy wood production and storage. Research section focuses on the quality of energy wood storage in the region of forest management association Järvi-Savo. Attached is a guide for energy storage, which aims to improve and standardize methods for energy storage in forest management association Järvi-Savo region.</p>		
Subject headings, (keywords) Energy wood, biofuel, guide for energy wood storage		
Pages 27 p.	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A1583
Remarks, notes on appendices This study includes a Cd-rom that contains a guide for energy wood storage.		
Tutor Timo Leinonen	Bachelor's thesis assigned by Metsänhoitoyhdistys Järvi-Savo	

SISÄLTÖ

KUVAILULEHDET

1	JOHDANTO	1
2	PUU ENERGIANLÄHTEENÄ.....	1
2.1	Puun koostumus	1
2.2	Puun kosteus ja kuivatuoretiheys.....	2
2.3	Puun lämpöarvo ja energiatiheys	2
3	ENERGIAPUUIAKEET	3
3.1	Hakkuutähteet	3
3.2	Kannot	4
3.3	Karsimaton ranka eli kokopuu.....	4
3.4	Karsittu ranka.....	5
4	ENERGIAPUUN MITTAUS	6
4.1	Mittaustavat, mittasuureet ja tarkkuus	6
4.2	Pinomittaus	7
4.3	Massaan perustuva mittaus.....	8
4.4	Mittaus hakkeena	9
5	ENERGIAPUUN VARASTOINTI	9
5.1	Varastoinnin vaikutus hakkeen ja murskeen kosteuteen.....	9
5.2	Logistiikan varastoinnille asettamat vaatimukset	10
5.3	Varaston olosuhteet ja kasan muoto.....	12
5.4	Energiapuun varastointia koskevat lait ja rajoitteet	15
6	HAKKEEN JA MURSKEEN TUOTANTOKETJUT.....	16
6.1	Palstahaketus.....	16
6.2	Terminaali- ja käyttöpaikkahaketus	16
6.3	Tienvarsihaketus	17
7	HAKKURI- JA MURSKAINTYYPIT	18
7.1	Laikkahakkuri	18
7.2	Rumpuhakkuri	18
7.3	Ruuvihakkuri	19

7.4	Murskain.....	19
8	TUTKIMUS.....	20
8.1	Tutkimuksen tavoitteet.....	20
8.2	Tutkittujen varastojen valinta ja luokittelu.....	20
8.3	Varastoinnin laatu	22
9	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Koko maailman yhteiseksi tavoitteeksi on viime vuosina muodostunut ilmastonmuutoksen torjuminen. Fossiilisten polttoaineiden käyttöä on pyritty vähentämään ja korvaamaan niitä uusiutuvilla energianlähteillä. EU:n komission Suomelle asettama tavoite uusiutuvien energianlähteiden osuudesta energiantuotannossa on 38 % vuoteen 2020 mennessä (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008, 36). Suomen tavoitteiden täyttymisessä metsillämme on suuri merkitys. Tällä hetkellä metsäteollisuuden sivutuotteet käytetään tehokkaasti hyödyksi energiantuotannossa ja tehtaiden sulkemisten takia sivutuotteiden määrä ei tule kasvamaan. Sen sijaan metsähakkeen raaka-ainetta Suomessa on runsaasti. Haketta tehdään kannoista ja juurakoista, oksa- ja latvusmassasta, sekä pienpuusta. Tavoitteena on, että vuonna 2020 metsähaketta tuotettaisiin 12 miljoonaa kiinto-m³, joka on noin 24 TWh. (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008, 37.) Vuonna 2009 metsähaketta korjattiin ennätyselliset 6,1 miljoonaa m³. (Kärhä 2010.)

Tällä hetkellä energiapuun korjuu elää epävarmassa tilanteessa, koska energiapuun korjuutukien tulevaisuus on hämärän peitossa. Varmaa kuitenkin on, että tulevaisuudessa energiapuun korjuu tulee lisääntymään EU:n asettamien tavoitteiden takia. Tämän myötä energiapuun parissa tulee toimimaan paljon uusia ihmisiä. Se lisää koulutustarvetta sekä energiapuun korjuun ja kuljetuksen, että varastoinnin osalta. Energiapuun varastoinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi hakkeen laatuun, sekä logistiikan toimintaan. Oikein sijoitetulla varastopaikalla saavutetaan alhaisempi hakkeen kosteuspitoisuus ja tätä kautta parempi lämpöarvo. Tästä on suoraa taloudellista hyötyä voimalaitokselle, koska energiaa ei kulu kosteuden haihduttamiseen hakkeesta. Varaston oikeanlainen sijainti tien varressa parantaa myös energiapuun parissa työskentelevien yritysten kannattavuutta. Tilavalla varastopaikalla isot kuorma-autot mahtuvat työskentelemään jouhevasti ja ajankäyttö tehostuu. Oikeaoppisen varastoinnin hyödyt kantautuvat aina kuluttajalle asti alhaisempina kustannuksina.

2 PUU ENERGIANLÄHTEENÄ

2.1 Puun koostumus

Puun biomassa syntyy, kun puu yhteyttää. Lehdet ja neulaset hankkivat puulle ilmasta hiilidioksidia ja juuret maasta vettä. Auringon säteilyenergian avulla lehdet ja neulaset valmistavat näistä aineista sokereita, jotka muuttuvat kasvin soluissa monimutkaisemmiksi yhdisteiksi, jotka koostuvat hiilestä, hapestasta ja vedystä. Hiilestä, hapestasta ja vedystä muodostuu selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä. (Hakkila 2003a, 24.) Havupuiden ligniinipitoisuus on 24 - 33 % ja lehtipuilla vastaava pitoisuus on 16 - 25 %. Ligniini antaa puulle lujuutta sitomalla kuidut toisiinsa. Ligniinissä on paljon hiiltä ja vetyä, jotka ovat energiantuotannossa tärkeitä aineita. (Puhakka ym. 2001, 6.) Mitä enemmän puussa on hiiltä ja vetyä, sitä enemmän se sisältää energiaa. Koska havupuissa on enemmän ligniiniä kuin lehtipuissa, vapautuu havupuita poltettaessa myös enemmän energiaa. (Hakkila 2003a, 25.)

2.2 Puun kosteus ja kuivatuoretiheys

Kärkkäisen (2007, 177) mukaan puu on hygroskooppinen eli vettä imevä aine, joka pystyy sitomaan itseensä kosteutta ympäröivästä kaasukerroksesta. Puun kosteudella tarkoitetaan puussa olevan veden massan ja puuaineen massan välistä suhdetta (Puuinfo.) Tuoreen puun kosteus on 40 - 60 %. Kosteuteen vaikuttavat kasvupaikka, puulaji, puun ikä ja lisäksi tarkasteltavalla puun osalla on merkitystä. Runkopuun kosteuspitoisuus on puun osista alhaisin. (Alakangas 2000, 39.)

Tuoretiheys (kg/m^3) tarkoittaa puuaineen tuoremassan ja tuoreena mitatun tilavuuden suhdetta ja kuivatuoretiheys (kg/m^3) puuaineen kuivamassan ja tuoreena mitatun tilavuuden suhdetta (Lindblad ym. 2010). Tiheyteen vaikuttavat kasvupaikka, puun perimä ja ikä. Tiheys voi kuitenkin vaihdella puuyksilöiden välillä, vaikka ne olisivat saman ikäisiä ja kasvaisivat vierekkäin. (Alakangas 2000, 44.)

2.3 Puun lämpöarvo ja energiatiheys

Puun lämpöarvo ilmoitetaan puun massa suhteutettuna, joko MJ/kg tai kWh/kg (Puhakka ym. 2001, 7). 1 MJ on 0,2778 kWh (Puhakka ym. 2001, 59). Kalorimetrinen lämpöarvo kertoo palamisessa vapautuvan kokonaislämpömäärän ja alhaisempi, tehollinen lämpöarvo kertoo todellisen vapautuvan kokonaislämpömäärän, josta on vähennetty veden haihduttamiseen kulunut energia (Hakkila 2003a, 26). Puun lämpöarvo

liikkuu välillä 18,3 ja 20,0 MJ/kg (Alakangas 2000, 42). Kilowattitunneiksi muutettuna puun lämpöarvo on noin 5,1 – 5,6 kWh/kg.

Hakkilan (2003a, 29) mukaan energiatiheys tarkoittaa sitä, kuinka paljon tietyssä tilavuusyksikössä on energiaa. Metsähakkeella kyseinen arvo ilmoitetaan kWh/m³ tai kWh/i-m³. Puulla energiatiheys ilmoitetaan yleensä irto- kuutiota kohti. Energiatihyteen vaikuttavat puun lämpöarvo, kosteus, kuivatuotetiheys (kg/m³) sekä hakkeen tiiviys (m³/i-m³). Vertailtaessa havupuita (kuusi ja mänty) ja koivua, voidaan todeta, että koivun energiatiheys on korkeampi, koska sen kuivatuotetiheys on suuri ja kuoren lämpöarvo korkea. Jotta puulajien välisiä energiatihyksiä voidaan verrata, on kosteuden ja tiiviyn oltava vakioita. Esimerkiksi kokopuuhakkeen energiatiheys männyllä ja kuusella on noin 780 kWh/i-m³. Koivulla vastaava arvo on 920 kWh/i-m³.

3 ENERGIAPUUIAKEET

3.1 Hakkuutähteet

Hakkuutähteiksi kutsutaan ainespuun korjuun jälkeen metsään jäänyttä oksa- ja latvusmassaa sekä ainespuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttämätöntä puutavaraa. Hakkuutähdettä korjataan vain uudistushakkuualoilta, koska kertymä on silloin suurempi, kasvamaan jäänyt puusto ei haittaa korjuuta, eikä kasvupaikalle jää puustoa, joka tarvitsisi hakkuutähteistä vapautuvia ravinteita. Hakkuutähdettä kertyy eniten kuusivaltaisista metsistä, jopa yli kaksinkertainen määrä verrattuna mänty- ja koivuvaltaisiin metsiin. (Vesisenaho 2003, 38.) Hakkuutähteitä ei suositella korjattavaksi kuivahkoja kankaita karummilta kohteilta, eikä vastaavilta turvemailta, eikä myöskään kallioisilta tai runsaskivisiltä kohteilta ravinnehävikin välttämiseksi (Äijälä & Kuusinen, 2010, 18). Hakkuutähteet karsitaan kasoihin, jolloin metsäkuljetus nopeutuu ja hakkuutähteet saadaan kerättyä tarkemmin. Ennen metsäkuljetusta hakkuutähdekasoja varastoidaan palstalla, jolloin ne kuivavat ja neulaset sekä lehdet varisevat maahan ravinteeksi. Neulasten varisemisella metsään on myös polttolaitteistoa ja polttoprosessia hyödyntäviä vaikutuksia. Neulasten sisältämä kloori muuttuu palaessaan hapoksi ja aiheuttaa korroosiota polttolaitteistolle. (Alakangas 2000, 12.) Lisäksi neulaset aiheuttavat polttovaikeuksia lämpökattilalle (Metsäkeskus Keski- Suomi, 2009). Kun hakkuutäh-

teet ovat kuivaneet palstalla muutaman viikon tai jopa talven yli kevääseen, ne kuljetetaan kuormatraktorilla tienvarsivarastoon ja mahdollisesti peitetään.

3.2 Kannot

Kantojen nosto on mahdollista vain metsänuudistusaloilla. Kohteiksi sopivat kivennäis- ja turvemaat. Eniten kantomateriaalia saadaan nostetuksi järeiden kuusikoiden uudistusaloilta. Kantojen nostolla voidaan myös torjua juurikääpää. Kantoja ei tule nostaa kuivilta tai karukkokankailta, ellei alueella ilmene juurikääpää. Kantoja ei tule myöskään nostaa puolukkaturvekankailta ja sitä karummilta kohteilta, kallioisilta ja runsaskivisiltä alueilta, ravinnehäiriöisiltä alueilta, eikä pohjavesialueilta. (Koistinen & Äijälä 2005, 23,25.) Kantojen korjuu tehdään tela- alustaisella kaivinkoneella, joka on varustettu kantoaharalla tai kannonnostoa varten tehdyllä, kannot hydraulisesti halkovalla laitteella. Kannot nostetaan vasta, kun hakkuutähde on kuljetettu uudistusalalta tienvarsivarastoon. Kannot nostetaan uudistusalalle pieniin kasoihin, joissa niiden annetaan kuivua ja puhdistua maa-aineksista noin vuoden verran. Tämän jälkeen kannot kuljetetaan metsätraktorilla tienvarsivarastoon.

3.3 Karsimatonta rankaa eli kokopuuta

Karsimatonta rankaa eli kokopuuta korjataan nuorista metsistä, joissa taimikonhoito on aiemmin laiminlyöty. Kokopuukorjuu sopii reheville kohteille, joissa ei ole vaaraa ravinnepuutoksesta. Kokopuuta ei tule korjata kuusikoista, joissa kuusen osuus on yli 75 % ja kohteilta, joilta edellisen päätehakkuun yhteydessä korjattu hakkuutähdettä, koska tällöin ravinnehävikki on liian suuri. (Koistinen & Äijälä 2005, 8.) Lisäksi kokopuu korjuu kuusikoista sulan maan aikaan on riskialtista juuristovaurioiden takia. Korjuukohteet ovat usein ylitiheitä ja riukuuntuneita, joten perinteinen ainespuun ensiharvennus ei ole mahdollista. Konetyö on kannattavaa, kun rungon keskikoko on noin 20 - 30 dm³. Kohde on myös ennakkoraivattava, mikäli alikasvos on runsasta. (Koistinen & Äijälä 2005, 13.) Kokopuun korjuu toteutetaan hakkuukoneella, joka on varustettu giljotiinihakkuulaitteella tai tavallisella hakkuulaitteella, jossa on joukkokäsittelyominaisuus. Runkoja kerätään kouraan nipuksi ja niput siirretään ajouran viereen metsäkuljetusta varten. Mikäli maapohjan kantavuus sallii, ennen metsäkuljetusta nippujen annetaan kuivua palstalla muutamia viikkoja, jotta neulasen ja lehden varisevat maahan. Energiapuu ajetaan tievarsivarastoon ja mahdollisesti peitetään.

Kokopuun korjuun on laskettu kasvattavan kiertoaikaista tuottoa noin 10 %, mikäli vertailukohtana on metsä, jonka annetaan kasvaa ylitiheänä ja riukuuntuneena ainespuuta kerryttävään ensiharvennukseen asti (Koistinen & Äijälä 2005, 6).

3.4 Karsittu ranka

Karsittua rankaa kerätään normaaleilta ensiharvennuskohteilta. Koko kertymä voidaan korjata energiakäyttöön. Tämä sopii ylitiheille ja riukuuntuneille kohteille, joissa ainespuukertymä olisi liian pieni kannattavalle hakkuulle. Korjuu voidaan tehdä myös integroituna korjuuna, jossa kerätään sekä aines- että energiapuuta. Tämä sopii puustoltaan jo hieman järeämmille kohteille, joista kertyy paljon ainespuuta, mutta hukka- puun suuren määrän takia energiajakeenkin korjuu on kannattavaa. Integroidussa korjuussa energiapuun kertymään vaikuttavat suuresti käytettävät kuitupuun minimiläpimitat ja pituudet. Karsitun rangan kerääminen energiakäyttöön ei vaaranna kasvupaikan puuntuotoskykyä, koska oksat, neulasen ja lehden jäävät palstalle. (Itä- Suomen Yliopisto, Metsäntutkimuslaitos 2008 – 2010.) Varsinkin kuivahkojen kankaiden männiköille integroitu ainespuun ja karsitun rangan korjuu on sovelias menetelmä, koska ravinteet jäävät metsään. Karsitun rangin hakkuu toteutetaan harvesterilla jossa on tavallinen hakkuulaite tai joukkokäsittelyyn soveltuva syöttävä hakkuulaite. Puut hakataan yksitellen tai 3 - 4 rungon nipuissa ajouran varteen (kuva 1). Oksat ja latvus jäävät ajouralle. Mikäli korjataan aines- ja energiapuuta integroidusti, ainespuu ja karsittu ranka hakataan omiin kasoihinsa ajouran viereen.



KUVA 1. Karsitun rangin hakkuuta.

Karsittua rankaa ei kuivateta palstalla, vaan se kuljetetaan tienvarsivarastoon ainespuun kuljetuksen yhteydessä ja peitetään, mikäli on tarvetta. Karsimisen etuna kokopuuhun verrattuna on, että karsiessa puun pinta rikkoontuu ja rangan kuivuminen nopeutuu. Lisäksi kuormatraktoriin voidaan tehdä rangoista tiiviimpi kuorma, jolloin metsäkuljetus tehostuu.

4 ENERGIAPUUN MITTAUS

4.1 Mittaustavat, mittasuureet ja tarkkuus

Puutavaran mittauslakia ei sovelleta energiapuun mittauksessa, eikä siihen sovelleta muitakaan puutavaranmittauksessa käytettäviä säädöksiä. Energiapuun mittaukseen sovelletaan ohjetta ja sopimusta, joka on suurimpien energiapuualan toimijoiden hyväksymä (Lindblad ym. 2010). Energiapuuta voidaan mitata pinossa, kuormainvaa'alla metsäkuljetuksessa, käyttöpaikalla tai hakkeena hakeauton kontissa. Energiapuun mittauksessa käytettäviä suureita ovat tilavuus, massa ja energiasisältö. (Lindblad 2008, 14.) Tilavuus ilmoitetaan kiintokuutiometreinä (m^3) tai yleensä irtokuutiometreinä ($i-m^3$), massa kilogrammoina (kg) ja energiasisältö kilowattitunteina (kWh).

Energiapuun mittauksessa ei sovelleta ± 4 % tarkkuusvaatimusta, kuten ainespuun mittauksessa, eikä energia- alan toimijoiden välisessä sopimuksessa ole vaatimuksia mittauksen tarkkuudelle. Tämä johtuu energiapuun mittauksessa käytettävien menetelmien epätarkkuudesta. Energiapuun mittausoppaassa mittausmenetelmät on luokiteltu kahteen ryhmään. Toisen käyttöä suositellaan vain energiapuun määrän arviointiin ja toiseen ryhmään kuuluvia mittausmenetelmiä voidaan käyttää työ- ja luovutusmittauksessa. (Lindblad 2008, 14.)

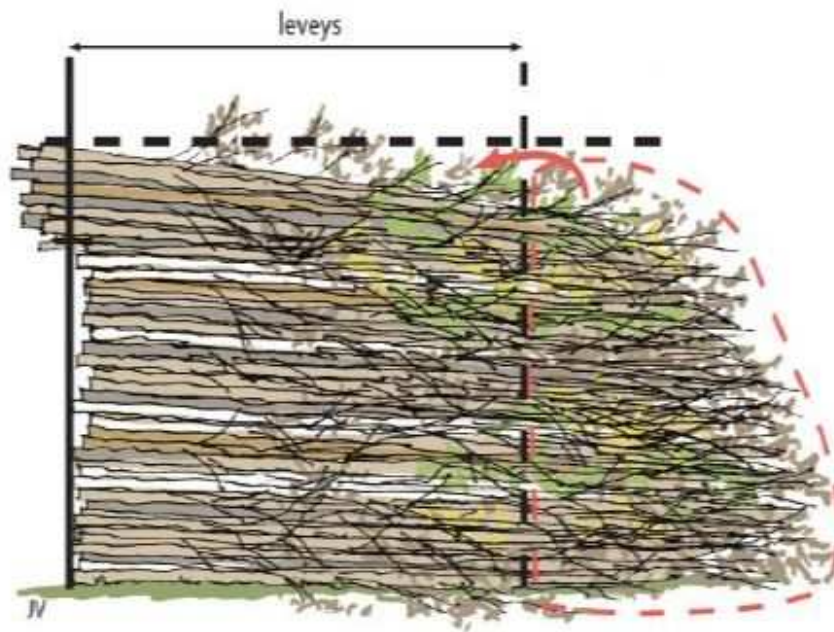
TAULUKKO 1. Muuntokertoimia (Puhakka 2001, 59).

Kiintokuutiometri	1 m^3	=	$2,5\text{ i-m}^3$
		=	2000 kWh / 2MWh
Irtokuutiometri	1 i-m^3	=	$0,4\text{ m}^3$
		=	800 kWh / 0,8 MWh

4.2 Pinomittaus

Energiapuun pinomittausta käytetään harvennusenergiapuun mittauksessa silloin, kun halutaan arvioida energiapuun määrää tai maksaa ennakkomaksuja. Mikäli energiapuupinon ominaisuudet vastaavat kuitupuupinon ominaisuuksia, voidaan soveltaa kuitupuun pinomittausohjetta, mikäli kyseessä on karsittu ja katkottu ranka. Mikäli käytetään kuitupuun pinomittausohjetta ja vaaditaan puutavaranmittauslain mukaista tarkkuutta mittaukselle, on energiapuupinon täytettävä kaikki kuitupuun pinomittausohjeessa mainitut vaatimukset. (Lindblad ym. 2010.)

Mikäli noudatetaan energiapuun mittausopasta, harvennusenergiapuun mittaus suoritetaan mittaamalla pinon pituus, korkeus ja leveys. Tämän jälkeen lasketaan kehystilavuus, sekä kiintotilavuusprosentti ja kertomalla ne keskenään saadaan kiintotilavuus. Pinon pituus mitataan pinon reunimmaisesta kohdasta toisen pään reunimmaiseen kohtaan 10 cm:n tarkkuudella. Pinon korkeuden määrittämiseksi pino tulee jakaa kahden metrin pituisiin osiin. Pinon ollessa yli 20 metriä pitkä, voidaan käyttää 3 metrin pituisia osia. Pinon osan korkeus määritetään 5 cm:n tarkkuudella. Viimeisen pinonosan mittauksessa huomioidaan pinon etu- ja takareunan leveyksien ero ja joko lisätään tai vähennetään se viimeisen pinonosan pituudesta. Pinon leveys määritetään katkaisemalla silmämääräisesti rungot kohdasta, jossa niiden keskiläpimitta on 2 - 3 cm ja mittaamalla etäisyys pinon etureunasta katkaisukohtaan (kuva 2). (Lindblad ym. 2010.) Kiintotilavuusprosentti määräytyy energiapuun mittausohjeessa olevan taulukon perusteella. Siinä otetaan huomioon pinon korkeus ja pinon etupuolen pölkkyjen keskiläpimitta.



KUVA 2. Pinon leveyden määrittäminen (Lindblad ym., 2010).

Pinomittaus on kuitupuullakin hieman epätarkkaa, mutta energiapuulla epätarkkuus vielä korostuu pienen läpimitan, oksaisuuden, kehystilavuuden mittaamisen vaikeuden ja epämääräisen kiintotilavuuskertoimen määrittämisen vuoksi. Nopeutensa vuoksi pinomittaus on hyvä menetelmä esimerkiksi tuki- ja työmaksujen perusteena. (Lindblad 2008, 15.)

4.3 Massaan perustuva mittaus

Massanmittaukseen perustuvaa mittausmenetelmää voidaan käyttää työ- ja luovutusmittauksen perusteena, kun mitataan harvennusenergiapuuta, latvusmassaa ja kantoja (Lindblad ym. 2010). Massanmittaukseen perustuva energiapuun mittaus toteutetaan joko puutavarakuormaimeen kouran riipukkeen tilalle asennettavalla kuormainvaalla tai yleensä käyttöpaikalla sijaitsevalla siltavaalla, jonka päälle ajoneuvo ajetaan kuormattuna ja tyhjänä. Erotuksesta saadaan kuorman massa.

Kuormainvaakaa käytettäessä taakka punnitaan kuormaa tehdessä tai kuormaa purettaessa. Metsäkuljetuksessa taakka punnitaan kuormaa purettaessa, jolloin kuormaimen liikeradat ovat yhteneväisiä. Kuorma-autolla punnitus suoritetaan kuormaa tehdessä. On huolehdittava, että talvisaikaan lumi ja jää on karistettu pois taakasta ennen punnintusta. Kuormainvaaka on kalibroitava käyttöviikoittain testipunnuksen avulla. (Melkas 2010, 9.)

Mikäli maksuperusteena ovat kiintokuutiot tai irtokuutiot, on punnitsemalla saatu massa vielä muunnettava tuoretiheys tai kuivatuoretiheystaulukoiden avulla kiintokuutioiksi. Kuorellinen kiintotilavuus voidaan laskea joko jakamalla mittauserän tuoremassa (kg) tuoretiheydellä (kg/m^3) tai mittaamalla erän kosteusprosentti ja kosteusprosentin sekä kuivatuoretiheyden (kg/m^3) avulla lasketaan tuoretiheys (kg/m^3), josta saadaan kuorellinen kiintotilavuus (Lindblad ym. 2010).

4.4 Mittaus hakkeena

Energiapuun mittaus hakkeena tai murskeena kuljetuskontissa soveltuu käytettäväksi työ- ja luovutusmittauksessa. Mittausta varten tulee selvittää kontin kehystilavuus ja muuntokerroin, jolla kehystilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi. Energiapuun mittausoppaassa opastetaan käytettäväksi muuntokerrointa 0,40, kun kehystilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi ja kerrointa 2,50, kun kiintotilavuus muunnetaan kehystilavuudeksi. (Lindblad ym. 2010.)

Menetelmän huonoina puolina on, että kukin mittauserä on tiiviydeltään erilainen ja käytettäessä keskimääräisiä muuntokertoimia todellinen hakkeen tilavuus voi olla eri, kuin mitattu. Mittauksen ja energiapuun korjuun välisen ajankohdan väli on pitkä ja mittauksen perusteella tehtävät tilitykset voivat tulla korjuun suorittajalle hyvinkin pitkällä viiveellä. (Lindblad 2008, 15.) Mikäli energiapuun mittaus suoritetaan lämpöarvon perusteella, mitataan hake-erästä kosteus ja määritetään erän lämpöarvo taulukoiden perusteella. Taulukoissa on omat lämpöarvonsa eri puulajeille ja eri puun osille. Hake-erän lämpöarvo ilmoitetaan muodossa kWh/kg tai MWh/t.

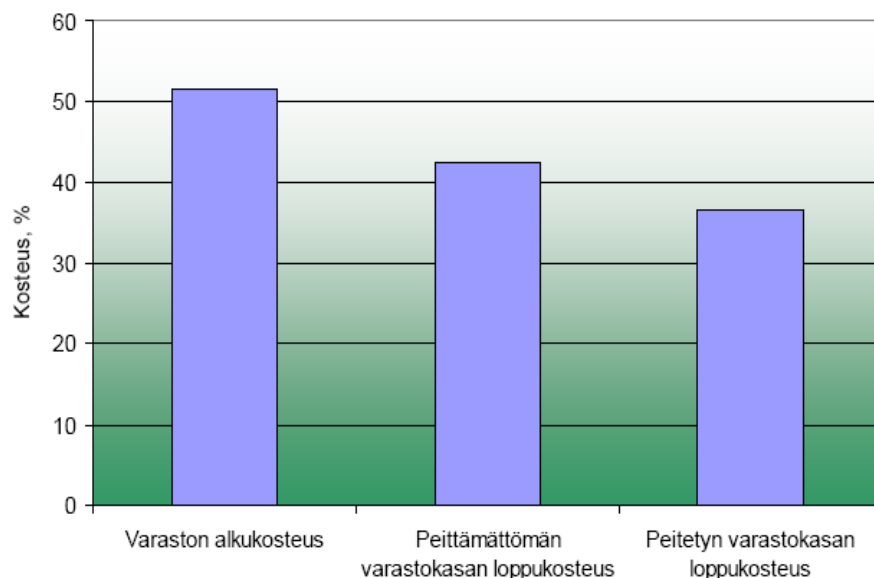
5 ENERGIAPUUN VARASTOINTI

5.1 Varastoinnin vaikutus hakkeen ja murskeen kosteuteen

Tuoreen puun kosteus on 40 - 60 %. Hyvällä varastoinnilla kosteuspitoisuus saadaan laskemaan 30 - 35 %:iin. Tosin syksyn ja talven aikana kosteuspitoisuus hieman nousee. (Metsäkeskus Keski-Suomi 2009.) Tärkein asia energiapuun varastoinnissa on varastopaikka olosuhteineen. Peittämisellä ei saada yhtä merkittäviä etuja. Pinoon sijoitettavilla välipuilla on vähäisin merkitys. (Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa 2010.)

Energiapuun palstavarastoinnilla voidaan vaikuttaa alentavasti hakkeen kosteuspitoisuuteen. Palstavarastointi kesän yli kuivattaa energiapuuta riittävästi. Metsäkuljetus tienvarsivarastoon tulee tehdä ennen syyssateita, jottei kuiva energiapuu kastu uudelleen. Mikäli energiapuu ja varsinkin hakkuutähteet ajetaan heti hakkuun jälkeen tienvarsivarastoon, puun kosteus ei ehdi haihtua kesän aikana yhtä paljon kuin palstalla. Kesän aikana veden osuus energiapuun tuoremassasta voi laskea 20 - 30 prosenttiin. (Ranta 2003, 76–77.) Energiapuuta tulee siis varastoida vähintään kesän yli ja mielellään palstalla, jotta saavutetaan mahdollisimman alhainen kosteuspitoisuus. Toisaalta energiapuuta ei tule varastoida yli kahta vuotta, koska silloin puu alkaa lahota ja lämpöarvo laskea.

Energiapuukasan peittäminen on tarpeellista, mikäli hakkuutähdettä tai kokopuuta varastoidaan yli talven tai haketus tapahtuu talvella. Peite estää veden pääsyn kasan sisälle ja kasan jäätyksen. Peitteen tulee ulottua kasan reunojen yli ja paikallaan pysyminen varmistetaan laittamalla energiapuuta peitteen päälle. Varastokasan peittäminen laskee hakkuutähteillä energiapuun loppukosteutta noin 10 prosenttia ja kokopuulla noin 6 prosenttia. (Hillebrand 2009.)



KUVIO 1. Peittämisen vaikutus kokopuun kosteuteen (Hillebrand 2009).

5.2 Logistiikan varastoinnille asettamat vaatimukset

Hakkuriyksikkö painaa noin 30 tonnia, sen pituus on 12 metriä, leveys 2,5 metriä ja korkeus 4 metriä. Puomin ulottuma on noin 10 metriä. (LMH- hakkuri.) Energiapuuta kuljettavien ajoneuvoyhdistelmien suurin sallittu massa on 60 tonnia, pituus 25,25 metriä, leveys 2,6 metriä ja korkeus 4,2 metriä. Pelkän vetoauton pituus on 12 metriä. (SKAL 2010.) Mikäli käytetään sivusyöttöistä hakkuria, on työskentelyleveys 4 - 5 metriä ja jos hakeauto on hakkurin vierellä, tarvitaan tilaa 7 - 8 metriä. Takasyöttöisellä hakkurilla työleveys on pienempi, noin 3 - 4 metriä. Traktoripohjaista hakkuria käytettäessä voidaan työskennellä tiealueen ulkopuolellakin, joten tilantarve ei ole niin suuri. (Alakangas ym. 1999, 45.) Ennen varaston kasaamista on selvitettävä, onko hakkuri sivulta, takaa vai päältä syötettävä. Sivusyöttöisessä hakkurissa haketta voidaan syöttää vain toiselta puolelta, joten kasoja ei voi tehdä molemmin puolin tietä, kuten takaa tai päältä syötettävässä mallissa. Lisäksi on huomioitava hakkurin puhallussuunta. (Ranta 2003, 77.)

Ajoneuvoyhdistelmän kääntämiseen tarvitaan noin 30 metriä halkaisijaltaan oleva kääntölenkki tai kääntöpaikan ollessa T-mallinen haaran pituuden tulee olla vähintään 30 metriä. Mikäli joudutaan ajamaan haketta pelkällä vetoautolla tai peruuttamaan yhdistelmällä pitkiä matkoja, haketuksen ja kaukokuljetuksen tuottavuus laskee huomattavasti. Varaston tulisi olla sellainen, että hakeauton kääntöpaikka olisi ennen hakkuria tai tie varastopaikan kohdalla olisi niin leveä, että hakeauto mahtuisi sivuuttamaan hakkurin. Tällöin hakkuri olisi heti käyttövalmis hakeauton saavuttua ja haketus tehostuisi. Hakeauton painopiste on korkealla, joten on varmistettava, että tien reunat kestävät kuormituksen varsinkin mutkien kohdalla. (Alakangas ym. 1999, 46.) Yksityisen tien liittymän yleiseen tiehen tulee olla riittävän laaja ja kantava, jotta pitkä yhdistelmä mahtuu kääntymään tielle. Varastoa ei saa sijoittaa jyrkkään mäkeen tai mutkien kohdalle turvallisuuden vuoksi. Varsinkin talvella mäkeen sijoitettu varasto on liukkauden vuoksi vaikea hakettaa tai kaukokuljettaa. Mikäli varasto on tien päässä, tulee varaston jälkeen olla noin 40 metriä vapaata tietä (Kinnunen 2011). Varaston takareuna ei tule olla yli 8 metrin päässä tien reunasta, koska muuten auton nosturi ei yletä kasan takareunaan ja osa energiapuusta jää hakettamatta. Varastoa ei tule myöskään sijoittaa sähkölinjan alle. (Kärnä & Fredriksson 2008, 6 – 7.) Energiapuun kuljettusta autolla terminaali- tai käyttöpaikkahakemukseen tai murskaukseen koskevat samat vaatimukset kuin hake- autoa.

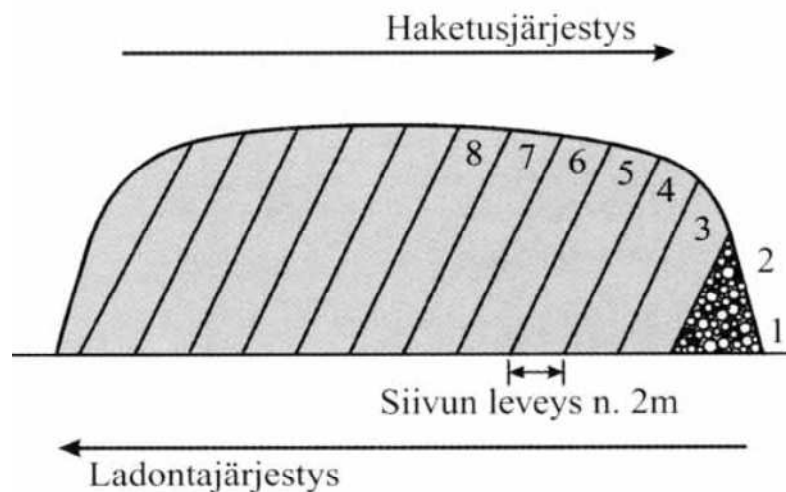
Kärnän ja Fredrikssonin (2008, 6 – 7) hakeyrittäjille tekemän kyselytutkimuksen mukaan suurin ongelma tienvarsihaketuksessa on varastokasan epäpuhtaudet. Epäpuhtauksista yleisimpiä ovat kivet, maa- aines ja juurakot. Epäpuhtaan latvusmassan haketuksessa voivat teräkustannukset olla jopa kaksin-kolminkertaiset puhtaan energiapuun haketukseen verrattuna. Onkin tärkeää, että varastokasa on kivettömällä alustalla, risukkoiset kohteet ennakkoraivataan, risut puidaan hakkuussa isoihin kasoihin, metsäkuljetuksessa kuormaan ei nosteta juurakoita ja että lunta ei aurata varastokasaan. Varastopaikka tulisi aina raivata, koska muuten on vaarana, että puita joutuu juurineen hakkuriin (Kinnunen 2011). Kantojen palstavarastoinnilla on suuri merkitys kantomurskeen puhtauteen. Palstalla maa-aines huuhtoutuu veden vaikutuksesta maahan ja toisaalta maa-aines kuivuu ja varisee helpommin maahan metsäkuljetuksen yhteydessä. Kantojen puhtaus ei ole yhtä ehdotonta kuin haketettavalla energiapuulla, koska murskaimen toiminta ei perustu puun leikkaamiseen, vaan murskaamiseen. Kantojen puhtaudesta ei tule kuitenkaan tinkiä, koska epäpuhtaudet häiritsevät myös polttoprosessia.

5.3 Varaston olosuhteet ja kasan muoto

Energiapuuvарaston paikka on mietittävä huolella, koska varastopaikalla on suurin vaikutus hakkeen kosteuteen (sivu 9). Hyvä varastopaikka on avoin, valoisa, ympäristöään korkeammalla, alustaltaan kuiva ja tasainen sekä tilava. Varastoa ei tule kasata puiden alle tai toisia puita vasten puista tippuvan veden takia, eikä ojan päälle. Talvella on hyvä poistaa lumet varaston pohjalta, jotta pohja kuivuu keväällä nopeammin. (Kinnunen 2011.) Lumen poistolla pienennetään myös riskiä, että aurinko sulattaa keväällä lunta vain kasan toiselta puolelta ja kasa kaatuu. Paras tulos saavutetaan, kun varasto on kohtisuoraan etelään päin, jolloin aurinko kuivattaa kasaa tehokkaasti (Metsäkeskus Etelä- Pohjanmaa 2010).

Varastokasan oikeanlainen ladonta on tärkeää, jotta kasa kuivuu parhaalla mahdollisella tavalla, pysyy pystyssä ja on helppo hakettaa tai kaukokuljettaa. Energiapuuvарaston tilavuus tulisi olla vähintään 80 - 120 irtokuutiota, jotta hakeauton kuorma tulisi yhdestä kasasta täyteen. Lisäksi kasan tulisi olla mahdollisimman korkea, koska korkeassa kasassa on vähemmän sateelle altistuvia pintapuita, kuin pitkässä ja matalassa kasassa. (Ranta 2003, 77.) Kasan teko aloitetaan aluspuiden asettelulla. Varsinkin kokopuulla ja karsitulla rangalla aluspuut vaikuttavat merkittävästi hakkeen kosteuteen.

Mikäli aluspuita ei voida tehdä jäleistä pölkyistä, aluspuiksi käy rankanippu, joka asetellaan kasan keskelle (kuva 5). Karsitulla rangalla ja järeämmällä kokopuulla aluspuut voidaan sijoittaa myös kasan etu- ja takaosaan. Kasa tulisi latoa täyteen korkeuteen siivuittain siten, että viimeisenä kasattu energiapuu haketetaan ensimmäisenä ja rungot tulee latoa suoraan (kuva 3). Siivuittain ladonta helpottaa kasan kuormausta ja kasan reuna jää siistiksi haketuksen tai kuormauksen loputtua, lumi ei varise kasaan ja kasa saadaan purettua pohjaan asti. (Kinnunen 2011.)

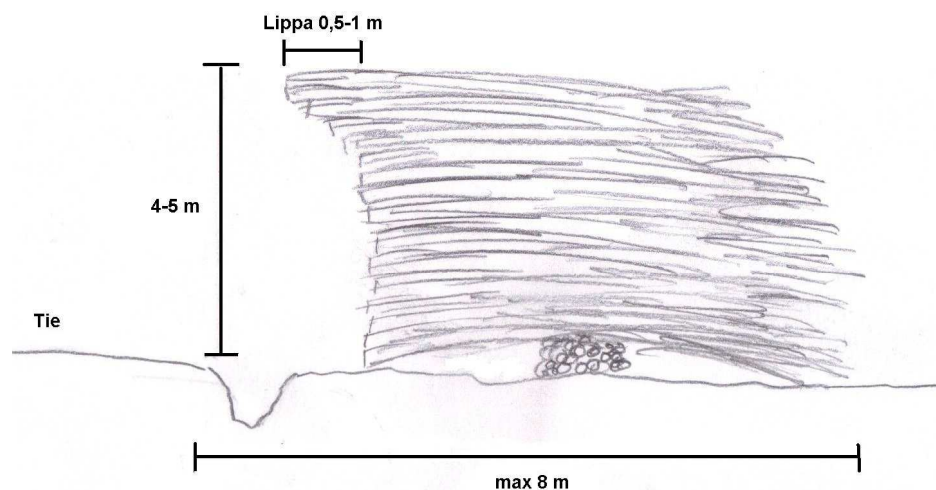


KUVA 3. Kokopuukasan ladonta siivuittain (Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa, 2010).

Kokopuuvarasto painuu kasaan kuivuessaan ja väärin kasattuna kaatuu helposti (kuva 4). Onkin tärkeää, että pino kasataan etunojaan, tyvet tielle päin ja mikäli mahdollista etelään päin. Kasan päälle tehdään vähintään puolen metrin paksuinen lippa, joka on 0,5 - 1 metriä kasan ulkopuolella (kuva 5). Lipan tarkoitus on estää koko pinon etureunan altistuminen vesisateelle. Myös karsittua rankaa varastoitaessa on lippa rakennettava kasan päälle. Varastoitavan puun ei tulisi olla yli 6 metriä pidempää, koska muutoin pitkät latvat jäätyvät talvella maahan kiinni ja tuovat mukanaan epäpuhtauksia hakkuriin. Pidemmistä puista olisikin parasta tehdä metsäkuljetuksen päätteeksi kasaan lippa. Mikäli kasassa käytetään välipuita, niiden on oltava lyhyitä, noin kolmen metrin pituisia ja mieluiten karsittuja. Liian pitkät välipuut haittaavat kasan purkua, koska kasa puretaan parin metrin paksuisissa siivuissa. Kokopuuta varastoitaessa tilantarve on noin 12 metriä käsiteltyä hehtaaria kohti ja karsittua rankaa varastoitaessa tilantarve on noin 10 metriä hehtaaria kohti. (Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa 2010.)



KUVA 4. Väärin ladottu kasa on vaarassa kaatua.



KUVA 5. Kokopuukasan rakenne.

Hakkuutähteitä, latvusmassaa ja kantoja varastoitaessa on huomioitava, että varastoja ei kasata ojien päälle ja kasan takareuna on enintään 8 metrin päässä tien laidasta. Hakkuutähteet vaativat varastotilaa noin 7 metriä hakattua 100 m^3 kohti ja kannot 40 metriä hehtaaria kohti kasojen ollessa 5 metriä korkeita ja 5 metriä leveitä. Kantovarastot on tehtävä pystysuoriksi. (Kinnunen 2011.)

Kaikkea energiapuuta varastoitaessa on varmistettava, että varastolla ei ole mahdollisuutta sortua tielle.

5.4 Energiapuun varastointia koskevat lait ja rajoitteet

Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta määrää, että syyskuun alun ja toukokuun lopun välisenä aikana kaadettu ainespuun mittavaatimukset täyttävä mäntypuutavara on kuljetettava pois hakkuupaikalta ja välivarastosta Oulun ja Lapin läänin alueella 15. päivään heinäkuuta mennessä ja muualla Suomessa 1. päivään heinäkuuta mennessä. Syyskuun ja kesäkuun lopun välisenä aikana kaadettu ainespuun mitat täyttävä kuusipuutavara on kuljetettava pois hakkuupaikalta ja välivarastosta Oulun ja Lapin lääneissä 15. päivään elokuuta mennessä ja muualla suomessa 1. päivään elokuuta mennessä. Lain mukaan on myös mahdollista kuoria puutavara kuukautta ennen poiskuljettamisen määräaikaan tai peittää kasa tai muuten toimia siten, että hyönteistuhojen riski poistuu. (Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta 263/1991 2010.)

Ainespuun minimilatvaläpimitta on yleensä 6 - 7 cm. Laki koskee kasoja, joiden ainespuun mitat täyttävän havuenergiapuun osuus on yli puolet. Hyönteisten lisääntymistä voidaan tehokkaasti estää viemällä havuenergiakasasta noin puolen metrin paksuinen kerros pois tai hakettaa pinta pois. Toinen vaihtoehto on kasata pinon päälle puolen metrin paksuinen kerros lehtipuuta tai ohutta havupuuta. On muistettava, että hyönteiset parveilevat keväällä, joten kasan peittäminen paperilla, lehtipuulla tai ohuella havupuutavaralla on tehtävä hyvissä ajoin. Parveilun jälkeen pintojen poistaminen toimii torjuntakeinona. (Metsäkeskus Kaakkois-Suomi 2010.)

Laki eräistä naapuruussuhteista kieltää puutavaran tai muun helposti syttyvän ainevaraston sijoittamisen viittätoista metriä lähemmäksi naapurin maata ja kolmeakymmentä metriä lähemmäksi naapurin puutarhaa, pihamaata, rakennuksia tai vuokratonttia ilman naapurin lupaa. Kyseisiä varastoja ei myöskään saa sijoittaa kahtakymmentä metriä lähemmäksi toisiaan. Jos varasto on ollut nykyisellä paikalla ennen naapuruussuhteen alkua, ei uudella naapurilla ole oikeutta vaatia varaston siirtämistä. (Laki eräistä naapuruussuhteista 26/1920.)

Puutavaran varastointi valtateiden ja kantateiden varteen ja linja- autopysäkeille on kielletty. Alempiarvoisten teiden varteen varastointi on sallittua seuraavin ehdoin: varastointi tapahtuu tiealueen ulkopuolella, näkemä on hyvä, muuta liikennettä varoitetaan ja alue siivotaan varastoinnin jälkeen. Hakettaminen yleisten teiden tiealueella

on kielletty. Hyvänä sääntönä voi pitää, että kaikki yksi- tai kaksinumeroiset tiet ovat valtateitä tai kantateitä ja alempiarvoisissa teissä on vähintään kolme numeroa.

6 HAKKEEN JA MURSKEEN TUOTANTOKETJUT

6.1 Palstahaketus

Palstahaketus perustuu maastokelpoisen alustakoneen päälle rakennettuun hakkuriin, jolla energiapuu haketetaan metsässä. Haketusta varten energiapuu on kasattava ajourien varteen. Palstahakkuri syöttää hakkeen konttiin, jonka se käy tyhjentämässä siirtokonttiin tien varressa. Palstahakkurin käyttötuntituotos 200 metrin metsäkuljetusmatkalla on 15 - 20 i-m³. Hakekontin koko on noin 10 - 20 i-m³. (Alakangas 1999, 59.) Isoja varastotiloja ei tarvita, mutta maahan laskettavat vaihtolavat vaativat tasaisen alustan. Palstahaketuksen etuna on, että metsäkuljetus ja haketus toteutetaan samalla koneella. Palstahakkuri ei sovellu kivisille tai pehmeille maille eikä kohteille, joilla metsäkuljetusmatka on yli 300 metriä. (Hakkila 2003b, 60.) Myös epäpuhtauksien joutuminen hakkeen sekaan vähenee, koska puuta ei varastoida tien varressa, vaan kipataan suoraan konttiin kaukokuljetusta varten. Palstahaketuksen käyttö on nykyään hyvin vähäistä.

6.2 Terminaali- ja käyttöpaikkahaketus

Terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksessa ja murskauksessa energiapuu kuljetetaan tienvarresta kokonaisena terminaaliin tai käyttöpaikkaan, jossa se haketetaan tai murskataan. Terminaalissa tai käyttöpaikalla käytettävä haketus- ja murskauskalusto on kooltaan suurempaa, kuin välivarastohaketuksessa käytettävä kalusto. Samoin kapasiteetti on suurempi ja laitteistot sopivat käytettäväksi vain suurissa terminaaleissa ja voimaloissa. (Hakkila 2003b, 62.) Kantojen murskaus tehdään nykyisin pääasiassa terminaaleissa ja käyttöpaikalla, mutta muiden energiapuujukeiden haketuksessa tienvarsihaketus on yleisempää. Vuonna 2009 hakkuutähdehakkeesta noin 30 % tuotettiin käyttöpaikkahaketuksella ja vajaa 10 % terminaaliaketuksella. Vuonna 2009 kannoista 70 % murskattiin käyttöpaikalla ja hieman alle kolmannes terminaalissa. Tienvarsimurskauksen osuus oli muutama prosentti. Pienpuusta 16 % haketettiin terminaalissa ja 5 % käyttöpaikalla. (Kärhä 2010.)

Käyttöpaikka- ja terminaalihaketuksen hyviä puolia ovat kuumen ketjun katkeaminen, eli hakkuri ja hakeauto toimivat toisistaan riippumatta. Lisäksi hakkeen ja murskeen toimitusvarmuus paranee, sekä hakkeen ja murskeen laadunhallinnan helpottuu, hakeutus on tehokasta ja pienempien korjuukohteiden kannattavuus paranee, koska varastolle ajetaan vain yhdellä autolla. Lisäksi haketta ja mursketta voidaan helposti jakaa terminaalista pienille voimaloille ja talvihaketus on helpompi organisoida, koska terminaalissa liukkaus ja lumi eivät ole haittana. Terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksen kustannustehokkuus kasvaa huomattavasti, mikäli kuljetetaan paalattua energiapuuta, koska kaukokuljetuksessa saadaan tehtyä tiiviimpiä kuormia. (Kärhä 2008.)

Huonoja puolia terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksessa ovat pitkät kuljetusmatkat terminaaliin ja terminaalin korkeat perustamiskustannukset, suuri tilan tarve ja tilan sijoittaminen sekä energiapuun ylimääräiset käsittelykerrat. Kaukokuljetuksessa tuottavuutta laskee kuormien alhainen tiheys, kun energiapuuta kuljetetaan tienvarsivarastosta terminaaliin tai käyttöpaikalle. Käyttöpaikkahaketus on kannattavaa vain, kun puunhankinta tapahtuu käyttöpaikan lähiympäristössä. (Kärhä 2008.)

6.3 Tienvarsihaketus

Tienvarsihaketuksessa energiapuu kuljetetaan metsätraktorilla tienvarsivarastoon, jossa energiapuun annetaan kuivua. Haketus tapahtuu joko traktorin tai vetoauton perään kiinnitettävällä hakkurilla tai vetoauton päälle rakennetulla hakkurilla. Hakkurilla energiapuu haketetaan hakeauton konttiin ja kuljetetaan yleensä käyttöpaikalle tai joissain tilanteissa terminaaliin. Hakkuri ja hakeauto muodostavat kuumen ketjun, jossa toisen osapuolen toiminta vaikuttaa myös toisen osapuolen toimintaan. Tämä ketju voidaan katkaista käyttämällä integroitua yksikköä, jolla hoituu sekä haketus että kaukokuljetus. (Hakkila 2003b, 62.) Tienvarsihaketuksen tuntituotos haketettaessa hakkuutähdettä on noin $15 - 50 \text{ m}^3$, joka on noin $40 - 120 \text{ i-m}^3$ (Sauranen 2003a, 67).

Tienvarsihaketusta käytetään lähinnä hakkuutähteiden ja kokopuun sekä karsitun rangan haketuksessa. Vuonna 2009 tienvarsihaketuksen osuus pienpuuhakkeen tuotannosta oli lähes 80 %, josta 75 % käsiteltiin hakkuri-hakeauto -yhdistelmällä. Integroidun hakkuri-hakeauto tuotannon osuus oli 4 %. Hakkuutähteistä 60 % haketettiin tienvarressa hakkuri-hakeauto -yhdistelmällä, integroidun menetelmän osuus oli pro-

sentin luokkaa. Kantojen murskaus tienvarressa oli vuonna 2009 pari prosenttia. (Kärhä 2010.)

Tienvarsihaketuksen vahvuuksia käytettäessä erillistä hakkuria ja hakeautoa ovat soveltuvuus kaikenlaisiin korjuuoloihin. Menetelmää on käytetty jo pitkään ja kalustoa on saatavilla. Huonoja puolia ovat hakkurin ja hakeauton riippuvuus toisistaan, tienvarsivarastolta vaaditaan paljon tilaa, tie roskaantuu ja hakkurin käyttöaste jää alhaiseksi varsinkin pitkillä kuljetusmatkoilla. (Kärhä 2008.)

Integroidun menetelmän etuja ovat vähäisempi kaluston tarve, hakkuri ja hakeauto eivät ole riippuvaisia toisistaan ja pienempien työmaiden kannattavuus on parempi, kuin käytettäessä erillistä hakkuria ja hakeautoa. Heikkouksia ovat alhainen kuljetuskapasiteetti, joka korostuu pitkillä kaukokuljetusmatkoilla kasvavina kustannuksina. (Kärhä 2008.)

7 HAKKURI- JA MURSKAINTYYPIT

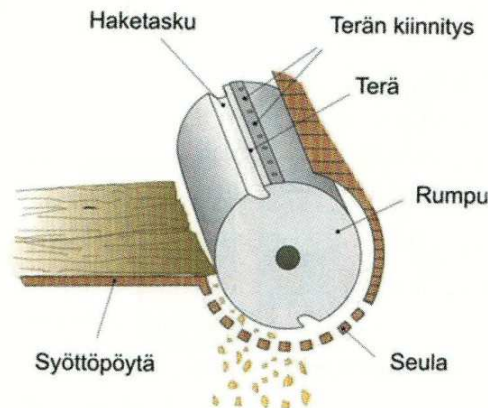
7.1 Laikkahakkuri

Laikkahaketustekniikkaa käytetään yleisimmin pienissä haketusjärjestelmissä, jotka saavat käyttövoimansa maataloustraktorista. Syöttöpöytää ei tarvita, vaan syöttötorvi ohjaa puun vinosti terille ja leikatessaan terät vetävät samalla puuta hakkuriin. Terät on kiinnitetty vauhtipyörään ja ne vahingoittuvat herkästi osuessaan kiveen tai maainekseen. Isoissa laikkahakkureissa käytetään syöttörullia haketuksen tehostamiseksi ja hakkeen laadun parantamiseksi. Laikkahakkurilla pystytään hakettamaan noin 5 - 20 i-m³ tunnissa. (Sauranen 2003b, 71.)

7.2 Rumpuhakkuri

Rumpuhakkuri voidaan asentaa kuorma-auton päälle tai perävaunun päälle. Voimallähteenä voidaan käyttää alustakoneen voimansiirtoa tai hakkurin omaa moottoria. Rumpuhaketustekniikkaa käytetään suurissa hakkureissa, joilla tuotetaan haketta isoille lämpölaitoksille ja hakkeen tasainen laatu on tärkeää. Rumpuhakkurissa syöttölaitteisto syöttää puuta pyörivään rumpuun, jonka ulkokehälle kiinnitetyt terät hakettavat

puun (kuva 6). Syöttöpöytä on iso ja mahdollistaa tasaisen energiapuuvirran hakkuuriin. Suurilla rumpuhakkureilla voidaan hakettaa yli 150 i-m³ tunnissa. (Sauranen 2003b, 71.) Rumpuhakkuri on hakkureista monipuolisin ja sillä voi hakettaa kaikenlaista energiapuuta kantoja lukuun ottamatta. Suurimmilla rumpuhakkureilla voi hakettaa myös risutukkeja. Hakkeen palakokoa voidaan kontrolloida erikokoisten seulojen avulla. (Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa 2010.)



KUVA 6. Rumpuhakkuri (Sauranen 2003b, 72).

7.3 Ruuvihakkuri

Ruuvihakkuri perustuu vaakatasossa pyörivään kartioruuviin, joka pyöriessään vetää puun hakkuriin. Syöttöpöytää tai rullia ei tarvita, mutta ne parantavat hakkurin tuottavuutta. Ruuvihakkuri soveltuu parhaiten karsitun rangan ja esimerkiksi sahauspintojen haketukseen. Suurimmat ruuvihakkurit tuottavat haketta 100 - 200 i-m³ tunnissa. (Sauranen 2003b, 72.) Parhaiten ruuvihakkuri sopii pienemmille lämpölaitoksille ja esimerkiksi maatiloille. Ruuvihakkuri on herkkä kiville ja maa- ainekselle ja vaatii voimanlähteeltä ison vääntömomentin.

7.4 Murskain

Hakkurit hienontavat puun leikkaamalla, mutta murskaimen toiminta perustuu repimiseen. Murskaimet jaetaan levy- ja vasaramurskaimiin. Vasaramurskaimessa pyörivään akseliin kiinnitetyt metallipalat murskaavat puun vastinteriä vasten. Levymurskaimes- sa lomittain pyörivät levyt murskaavat puun. Murskaimet kestävät hakkureita paremmin epäpuhtauksia. Suurempi ongelma on murskeen huono laatu ja varsinkin murs-

keessa olevat pitkät tikut, jotka voivat aiheuttaa pienemmillä voimalaitoksilla häiriöitä kuljettimiin ja polttolaitteistoon. Tämän vuoksi mursketta käytetään vain kaikkein suurimmilla voimalaitoksilla. (Kuitto 2005, 101.) Mikäli murskain toimii terminaalis-
sa tai käyttöpaikalla, sitä pyöritetään omalla moottorilla ja tuntituotos voi olla jopa $500 \text{ i-m}^3/\text{h}$. Tienvarsimurskauksessa käytettävien mobiilimurskainten tuntituotos on noin $250 \text{ i-m}^3/\text{h}$. (Sauranen 2003b, 72.)

8 TUTKIMUS

8.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tämän hetkinen energiapuun varastoinnin laatu Metsänhoitoyhdistys Järvi-Savon alueella. Jokaisen varaston osalta selvitettiin, miten se täyttää hyvän varastopaikan vaatimukset ja kuinka kauan energiapuuta on varastoit-
tu palstalla sekä tienvarsivarastossa. Tutkimuksessa oli mukana sekä hakettamattomia varastoja että haketettuja.

8.2 Tutkittujen varastojen valinta ja luokittelu

Tutkimus perustuu kvantitatiiviseen tutkimukseen, jossa vuosien 2008 - 2010 aikana varastoon ajetuista ja 2010 – 2011 aikana haketetuista energiapuutarastoista valittiin kaikki yli 100 i-m^3 :n varastot, jotka jaettiin ositteisiin hakkuutähde ja hakeranka. Hakettamattomat varastot oli ajettu varastoon vuosien 2007 ja toukokuun 2011 välisenä aikana ja ne jaettiin samoin ositteisiin hakkuutähde ja hakeranka. Jokaisesta ositteesta valittiin systemaattisella otannalla 15 varastoa, joten tutkittavan joukon suuruudeksi tuli 60 varastoa. Jokainen varasto käytiin katsomassa maastossa ja olosuhteet kirjattiin ylös.

Haketetuista varastoista määritettiin varaston koko (i-m^3), tuulisuus, valoisuus, pohjan ja ympäristön kuivuus ja tasaisuus, työskentelytila varastopaikalla ja siisteys, kaato-
ajankohta, palstavarastoinnin pituus (kuukautta), metsäkuljetuksen ajankohta, tienvar-
sivarastoinnin pituus (kuukautta), sekä haketuksen ajankohta. Hakettamattomista va-
rastoista määritettiin varaston koko (i-m^3), tuulisuus, valoisuus, pohjan ja maan kui-
vuus ja tasaisuus, työskentelytila varastopaikalla ja siisteys, onko kasa peitetty ja onko

siinä lippa sekä aluspuut, kaatoajankohta, palstavarastoinnin pituus (kuukautta) sekä metsäkuljetuksen ajankohta. Osa varastoista kuvattiin.

Varastojen olosuhteet luokiteltiin paremmuusjärjestykseen seuraavasti:

Tuulisuus

1. Avoin paikka aukealla tai sen laidassa, aukeaa etelään tai länteen.
2. Varaston ympärillä isoa puustoa, mutta tuuli käy jonkin verran.
3. Varasto täysin tuulen suojassa, isoa puustoa joka puolella.

Valoisuus

1. Avoin paikka aukealla tai sen laidassa.
2. Varaston ympärillä harvahkoa, isoa puustoa, lievää varjostusta.
3. Varasto varttuneen metsän keskellä, aurinko ei paista varastolle.

Pohjan kuivuus

1. Kuiva
2. Kosteaa tai märkä

Pohjan tasaisuus, huomioitu myös tienosuuden mäkisyys.

1. Tasainen tien osuus, varaston pohja on tasainen.
2. Varasto sijaitsee rinteessä tai varaston pohja on epätasainen.
3. Jyrkähkö rinne tai varaston pohja on hyvin epätasainen (isoja kiviä tai mättäitä).

Työskentelytila varastopaikalla

1. Varaston välittömässä läheisyydessä ei ole linjoja tai rakennuksia, ajorata on leveä varaston kohdalla, tilava kääntöpaikka.
2. Tie kapeahko, linja varaston välittömässä läheisyydessä, kääntöpaikka ahdas.
3. Varasto matalalla sijaitsevan linjan alla, asuttuja rakennuksia alle 30 m päässä varastosta, pitkä peruutuspisto, varasto jyrkässä mutkassa, hakeauto ja hakkuri eivät pääse sivuuttamaan toisiaan varaston läheisyydessä. Varastopaikka vaarallinen.

Siisteys

1. Varastopaikalla tie kunnossa, ojat puhtaalla, varasto ei ole ojan päällä, kasa ei ole kaatunut, varasto ei ole tiealueella, ympäristö siisti.

2. Tiessä vaurioita, puutavaraa tiellä, ojat tukossa, kasa ojan päällä, kasa kaatumassa tai kaatunut, varasto tiealueella, ympäristö sotkuinen.

Lisäksi hakettamattomien varastojen osalta luokiteltiin seuraavat ominaisuudet:

Kasa on peitetty

1. Kyllä
2. Ei

Kasassa on lippa, ei koske hakkuutähteitä

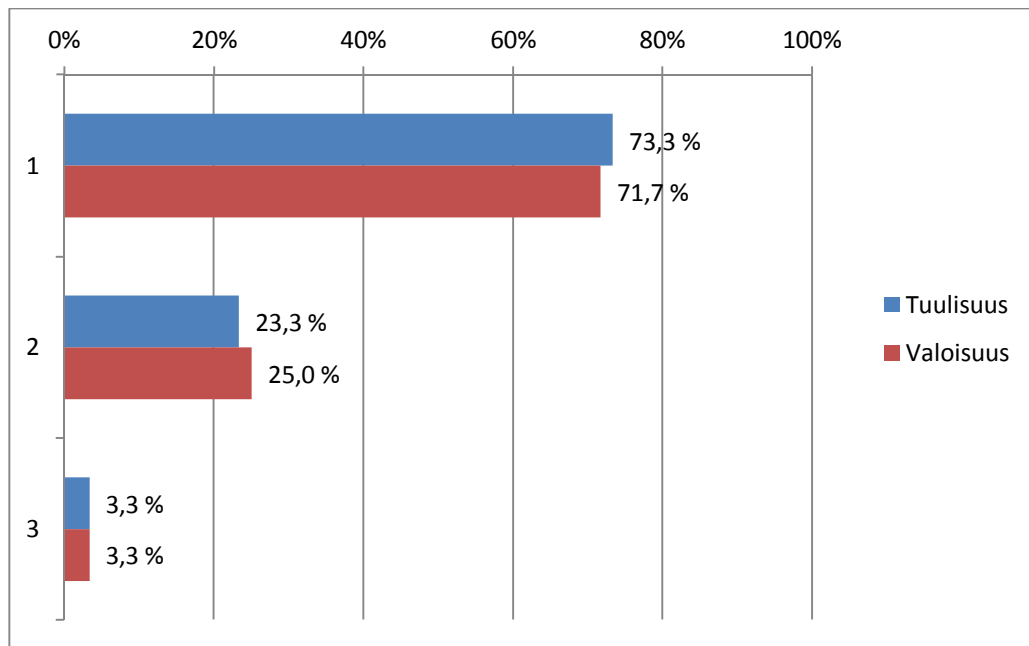
1. Kyllä
2. Ei

Aluspuut

1. Kyllä
2. Ei

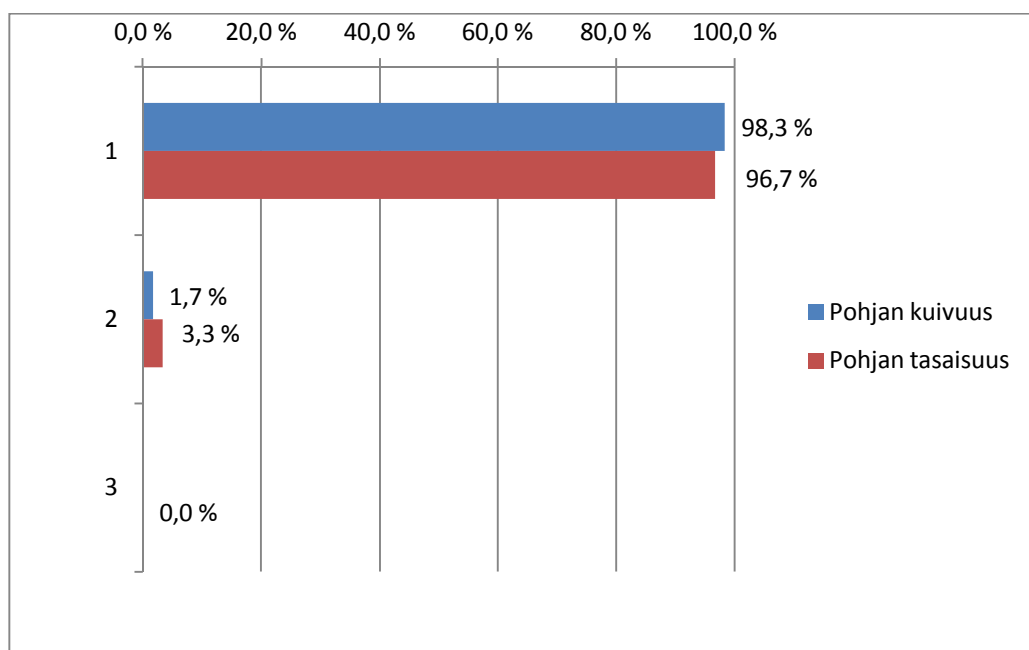
8.3 Varastoinnin laatu

Tarkasteltaessa varastopaikan tuulisuutta ja valoisuutta sekä haketetuista, että hakettamattomista varastoista luokkaan 1 kuului vähintään 70 % varastoista, luokkaan 2 hieman yli viidennes varastoista ja luokan 3 osuudeksi jäi muutama prosentti (kuvio 1). Suurin syy luokkaan 2 putoamiseen molemmissa ominaisuuksissa oli, että eteläpuolella kasaa puusto esti sekä tuulen, että auringonvalon vaikutuksen. Luokan 3 varastot sijaitsivat erittäin suojaisilla ja varjoisilla paikoilla. Lisäksi puista tippuva vesi vaikeutti varastojen kuivumista.



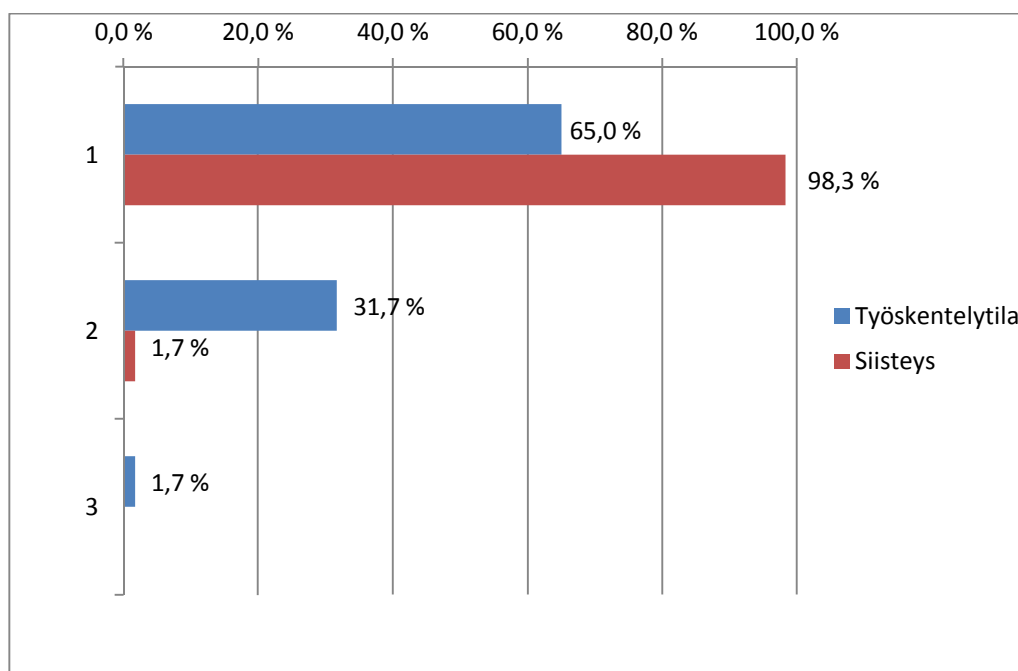
KUVIO 1. Varastojen tuulisuus ja valoisuus luokittain.

Varastojen pohjan kuivuus ja tasaisuus olivat tutkituissa varastoissa erittäin hyvällä tasolla (kuvio 2). Vain yhden varaston pohjan kuivuudessa oli huomautettavaa. Varasto sijaitsi vanhassa maanottokuopassa. Varastojen pohjan tasaisuudessa oli parantamisen varaa vain kahdessa kohteessa. Toisessa varasto sijaitsi jyrkässä ylämäessä olevassa pistossa, josta hake-auton on hankala lähteä liikkeelle. Toinen varasto sijaitsi kohtisuoraan tietä olevassa jyrkähkössä rinteessä, josta hake-auton pitää lähteä ylämäkeen liikkeelle.



KUVIO 2. Varastojen pohjan kuivuus ja tasaisuus luokittain.

Varastojen työskentelytilassa oli tutkittavista olosuhdetekijöistä eniten huomautettavaa (kuvio 3). Syinä olivat ahtaat liittymät varastolle, liian pienet kääntöpaikat, hakkuuri ja hake-auto eivät pääse sivuuttamaan toisiaan varaston läheisyydessä sekä varaston sijainti linjan alla. Yksi varastoista oli liikenteen kannalta vaarallisella paikalla. Varastoon johti lyhyt liittymäpiste valtatieltä, johon hake-auton on peruutettava. Sen sijaan varastojen siisteys oli hyvällä tasolla. Vain yhdessä kasassa oli huomautettavaa, koska kasa oli kaatumassa metsään.



KUVIO 3. Varastojen työskentelytila ja siisteys luokittain.

Hakettamattomista varastoista 23,3 % oli peitetty. Lippa tarkistettiin hakettamattomista hakeranka- ja kokopuukasoista, joista vain 13,3 % oli lippa. Aluspuut tarkistettiin kaikista kasoista ja ne löytyivät 60 % kasoja. Hakeranka- ja kokopuukasoista kaikissa oli aluspuut. Hakkuutähdekasoista ainakin kolmessa oli aluspuut, mutta muista hakkuutähdekasoista niiden havaitseminen oli mahdotonta.

Palstavarastoinnin keskimääräinen pituus hakkuutähteillä oli 2,95 kuukautta ja hakerangalla ja kokopuulla 0,65 kuukautta.

Tienvarsivarastoinnin pituus oli keskimäärin hakkuutähteillä 9,6 kuukautta ja hakerangalla ja kokopuulla 10,1 kuukautta. Pisin varastointiaika tienvarsivarastoinnissa oli

20 kuukautta ja lyhin 4 kuukautta. Varastointiaikasuosituksiin (sivu 9) verrattuna energiapuun varastointiajat Metsänhoitoyhdistys Järvi-Savon alueella ovat optimaalisia. Tutkittujen varastojen osalta palstavarastointia on käytetty hyödyksi energiapuun kuivatuksessa ja tienvarsivarastointi oli kestänyt tutkimusajankohtaan mennessä yli kaksi vuotta vain kahdessa hakettamattomassa varastossa.

9 POHDINTA

Sanotaan, että metsäalalla on tehty kymmenen vuotta virheitä ja seuraavat kymmenen vuotta ovat menneet virheiden korjaamiseen. Toivottavasti energiapuun korjuussa ei ole tehty virhettä. Paljon keskustelua on käyty kantojennoston ja kokopuunkorjuun vaikutuksesta maan ravinnetasapainoon. Vaikka aiheesta on tehty paljon tutkimuksia, ne eivät kuitenkaan ole olleet riittävän pitkäaikaisia ja laajoja, jotta seuraukset olisivat tiedossa. Toinen asia on kantokäsittely energiapuunkorjuukohteilla. Energiapuuta ehdittiin korjata vuosien ajan kesäkorjuuna havupuuvaltaisilta kohteilta, ennen kuin kantokäsittely nousi puheen aiheeksi. Nykyään energiapuun korjuussa suositellaan käytettäväksi kantokäsittelyä, mikäli havupuuvaltainen kuvio on kehitysluokaltaan vähintään nuorta kasvatusmetsää.

Energiapuun mittauksen tarkkuutta tulisi parantaa, sillä tällä hetkellä mittausmenetelmien välillä on liian suuria eroja. Esimerkiksi kuormainvaakamittauksen perusteena olevat tuotetiheystaulukot on liian karkeasti luokiteltu ja ne vaativat todellista perehtymistä, jotta taulukon käyttö on sujuvaa. Tulevaisuudessa tämä asia varmasti kehittyy. Internetistä löytyy myös tuotetiheystaulukoiden käyttöön tarkoitettu ohjelma nimeltä Eppu-energiapuulaskuri, jonka avulla voi muuntaa punnitun massan kiintokuutioiksi muutamalla hiiren painalluksella.

Energiapuun hinnoitteluperusteita tulisi edelleen selkeyttää, vaikka asiassa onkin paljon edistytty. Usein kuitenkin törmää keskusteluihin, joissa maanomistajat tuntevat tulleen huijatuksi energiapuukaupassa. Vanhemmat metsänomistajat ymmärtävät kun puhutaan kiintokuutioista, joten energiapuun hinnoitteluperusteeksi tulisi yleistää €/m³. Toimijoiden välisessä kaupassa hinnoitteluperusteeksi voidaan sopia muukin suure.

Varaston peittämisellä on suuri merkitys, kun energiapuuta varastoidaan talven yli tai varasto haketetaan talvella. Keväällä varastoon ajettu energiapuu tulisi hakettaa jo saman vuoden syksynä, jotta kesän kuivaava vaikutus saataisiin hyödynnettyä, eikä peittämätön kasa kastuisi talvella uudelleen. Toisaalta hakettu energiapuu taivasalla voi syksyn aikana kastua vielä enemmän kuin hakettamattomana varastossa. Vaikka peittäminen tuo lisäkustannuksia, sen avulla saatava alhaisempi hakkeen kosteuspitoisuus nostaa polttoprosessin hyötysuhdetta ja näin peite maksaa itsensä takaisin.

Vaikka varaston olosuhteet olisivat kuivumisen kannalta huonot, voi koneenkuljettaja parantaa energiapuun kuivumisedellytyksiä huomattavasti tekemällä kasaan hyvät aluspuut, riittävän pitkän lipan sekä peittämällä kasan. Tutkimuksen kohteena olleista hakerankakasoista eniten parantamisen varaa olisi juuri lipan tekemisessä. Lippa suo- jaa sateelta ja painattaa kasan etureunaa, jolloin kasa ei myöskään pääse kallistumaan taaksepäin ja altistumaan entistä enemmän sateelle. Toinen suuri parannustarve tässä työssä tutkituista laatumittareista oli varastopaikan työskentelytila. Suurin ongelma maanlaajuisesti tarkasteltuna on metsäteiden rakenne. Usein tie on hyvin tehty, mutta kääntöpaikka on alimitoitettu nykyiselle autokalustolle ja tien varressa ei ole pistoja, joissa esimerkiksi hakkuri voisi väistää hake-autoa. Tämä on ongelma, jolle harvem- min voi mitään hakkuuta suunniteltaessa, mutta johon tulisi todella kiinnittää huomio- ta ja suunnata kemera- tukia. Metsätien tehtävä on palvella autokuljetusta.

Puuenergian käytössä on ensiarvoisen tärkeää, että tuotettavassa hakkeessa on mah- dollisimman alhainen kosteuspitoisuus ja hake on tasalaatuista ja puhdasta. Tähän päästään, kun jokainen energiapuun parissa toimiva kiinnittää huomiota laatu- ajatte- luun. Vaikka puhutaankin vain risuista, ovat ne Suomen energiantuotannon kannalta tärkeä polttoaine, jonka tuotannossa huonolla laadulla voidaan lisätä tuotantokustan- nuksia ja laskea toiminnan kannattavuutta. Toki ympäristön olosuhteet vaikuttavat paljon energiapuuvaraston laatuun ja joissain tapauksissa varasto joudutaan sijoitta- maan vaikkapa kuivumisen tai logistiikan kannalta huonoon paikkaan.

Energiapuun korjuu pääsi hyvään vauhtiin viime vuosikymmenellä ja korjuumäärät kasvoivat vuosi vuodelta. Tällä hetkellä energiapuun korjuu pienpuusta on hieman suvantovaiheessa tukiepäselvyyksien takia, mutta toivottavasti päätös pienpuun ener- giatuesta saadaan kevään 2012 aikana. Tärkeimpänä tulevaisuuden tavoitteena olisikin saada energiapuun korjuu ja haketus kannattavaksi ilman tukia. Energiapuun korjuun

lisääntyessä tukiin varattu vuosibudjetti loppuu kesken vuoden ja aina joudutaan odottamaan, josko tuet saataisiin seuraavana vuonna. Tämä luo jatkuvaa epävarmuutta energiapuun parissa toimiville. Tulevaisuudessa paperiteollisuus vähenee Suomessa entisestään ja esimerkiksi koivu- ja havukuitu soveltuisi erittäin hyvin polttoon. Samalla tukien tarve pienenisi, koska korjuun ja kaukokuljetuksen kustannustehokkuus nousisi.

LÄHTEET

Alakangas, Eija, Sauranen Tapani & Vesisenaho Tero 1999. Hakkuutähteestä polttohakkeeksi koulutusmateriaali. Jyväskylä.

Alakangas, Eija 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. WWW-dokumentti.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 14.11.2011.

Hakkila, Pentti 2003a. Puu polttoaineena. Teoksessa Knuuttila, Kirsi (toim.) Puuenergia, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hakkila, Pentti 2003b. Suurimittainen metsähakkeen tuotanto. Teoksessa Knuuttila, Kirsi (toim.) Puuenergia, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Hillebrand, Kari 2009. Energiapuun varastointi. WWW- dokumentti.

http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/67012D8F-FBB0-4FC0-982E-3CD1A974666C/10447/Hillebrand_Energiapuun_varastointi.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 9.12.2011

Itä- Suomen Yliopisto, Metsäntutkimuslaitos 2008–2010. Nuorten metsien integroitu aines- ja energiapuun korjuu, infokortti 22. WWW- dokumentti.

<http://forestenergy.org/pages/79.pdf>. Päivitetty 11.1.2011. Luettu 16.11.2011.

Kinnunen, Esa 2011. Energiapuun korjuutekniikkaa. WWW- dokumentti.

http://www.biomass.fi/upload/korjuutekniikkaa_kinnunen.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 9.12.2011

Koistinen, Arto & Äijälä, Olli 2005. Energiapuun korjuu. Vammalan kirjapaino Oy.

Kuitto, Pekka-Juhani (toim.) 2005. Metsästä Polttoaineeksi. Polttihakkeen tuotannon puoli vuosisataa. ER- Paino Oy.

Kärhä, Kalle 2008. Metsähakkeen tuotantoprosessikuvaukset. WWW- dokumentti.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2008_03_Metsahakkeen_tuotantoprosessi_kk.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 25.12.2011.

Kärhä, Kalle & Fredriksson, Tage 2008. Laatuajattelua tienvarsihaketuksen. Bio-energia 4/2008. Forssa: Forssan kirjapaino.

Kärhä, Kalle 2010. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2009. WWW-dokumentti.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_09_Metsahakkeen_tuotantoketjut_Suomessa_2009_kk.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 25.12.2011.

Kärkkäinen, Matti 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Metsä Kustannus Oy.

Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta 263/1991. 2010. WWW- dokumentti.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19910263?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=hy%C3%B6nteistuhon%2A>. Päivitetty 15.3.2011. Luettu 20.12.2011.

Laki eräistä naapuruussuhteista 26/1920. 2010. WWW- dokumentti.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1920/19200026?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=naapuruus%2A>. Päivitetty 9.4.2010. Luettu 20.12.2011.

Lindblad, Jari 2008. Näin mitataan energiapuun määrä. Bioenergia 4/2008, Forssa: Forssan kirjapaino.

Lindblad, Jari, Äijälä, Olli, Koistinen, Arto 2010. Energiapuun mittaus. WWW- dokumentti.

http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksyty_27092010.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 1.12.2011.

LMH- hakkuri. WWW- dokumentti.

http://www.lmhakkuri.com/pdf/LHM_GIANT_2002_FIN.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 6.12.2011.

Melkas, Timo 2010. Kuormainvaa'alla tehokkuutta puutavaranmittaukseen. Bioenergia 5/2010. Forssa: Forssan kirjapaino.

Metsäkeskus Etelä- Pohjanmaa. Laatuhakkeen tuotanto- opas, 2010. WWW- dokumentti.

http://www.puulakeus.net/docs/109-DCV-laatuhakeopas_2._painosNET.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 6.12.2011.

Metsäkeskus Kaakkois-Suomi, 2010. Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta. WWW- dokumentti.

http://www.metsakeskus.fi/web/fin/metsakeskukset/Kaakkois-Suomi/Meidan_palvelumme/Viranomaisyksikk%C3%B6/Laki+metsan+hyonteis-+ja+sienituhojen+torjunnasta.htm. Päivitetty 26.1.2010. Luettu 20.12.2011.

Metsäkeskus Keski- Suomi, 2009. Energiapuun varastointi. WWW- dokumentti.

http://www.metsakeskus.fi/web/fin/metsakeskukset/Keski-Suomi/metsaenergiainfo/energiapuun_varastointi/etusivu.htm. Päivitetty 15.12.2010. Luettu 6.12.2011.

Metsäkeskus Keski- Suomi, 2010. Hakkuutähdehake. WWW- dokumentti.

<http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/BC8F9047-7BD6-45C2-BAB2-648ABAFEB4FA/10361/Hakkuutahdehake2.pdf>. Päivitetty 15.12.2010. Luettu 15.11.2011.

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia, 2008. WWW- dokumentti.

http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 2.11.2011.

Puhakka, Asko ym. 2001. Hakelämmitysopas. Helsinki: Motiva.

Puuinfo Oy. WWW- dokumentti.

<http://www.puuinfo.fi/puu-materiaalina/kosteusteknisia-ominaisuuksia>. Ei päivitystietoja. Luettu 30.11.2011.

Ranta, Tapio 2003. Suurimittaisen metsähakkeen tuotanto. Teoksessa Knuuttila, Kirsi (toim.) Puuenergia, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Sauranen, Tapani 2003a. Hakkuutähdehakkeen tuotanto. Teoksessa Knuuttila, Kirsi (toim.) Puuenergia, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Sauranen, Tapani 2003b. Haketus- ja murskaustekniikat. Teoksessa Knuuttila, Kirsi (toim.) Puuenergia, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

SKAL, 2010. WWW- dokumentti.

http://www.skali.fi/files/5434/Autojen_nimitykset_2009.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 6.12.2011.

Vesisenaho, Tero 2003. Puuperäiset polttoaineet. Teoksessa Knuuttila, Kirsi (toim.) Puuenergia, Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Äijälä, Olli & Kuusinen, Martti 2010. Teoksessa Koistinen, Arto (toim.) Hyvän Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. WWW- dokumentti. http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 16.11.2011